

fizikai szemle

AZ EÖTVÖS LORÁND FIZIKAI TÁRSULAT LAPJA

Alapította Eötvös Loránd 1891-ben Matematikai és Fizikai Lapok néven

XXVIII. évfolyam

10. szám

1978. október

ELEKTRON-BIOLÓGIA ÉS A RÁK

Szent-Györgyi Albert
Woodshole, Massachusetts

„A biológia jelenleg egy molekuláris tudomány. Testünk molekulákból — főleg fehérje makromolekulákból — épül fel, és így logikusnak tűnik annak feltételezése, hogy minden biológiai folyamat molekuláris, vagyis az élet molekuláris jelenség. A biológia szépsége a biológiai reakciók csodálatos bonyolultságában rejlik, és sohasem tudnám elképzelni, hogy mindezt nehézkes makromolekulák végzik, anélkül, hogy sokkal kisebb, mozgékonyabb, érzékenyebben reagáló egységek részt vennének benne, melyek csak delokalizáltak (viszonylag szabad) és erősen reagáló elektronok lehetnek. Ahhoz a meggyőződéshez, hogy az élet teljes megértését és mai hozzáállásunkat egy úr választja el, az is hozzájárult, ami megfigyelhető a rák és más degeneratív betegségek kutatásának teljes stagnálásában. Úgy tűnik, hogy a hálók mögött hálástunk és a makromolekulák inkább színterét, semhogy szereplőit jelentik az élet drámájának. Az első lépés a „rák-probléma” megoldáshoz ennek az úrnek kitöltése kell, hogy legyen. Amint Bernal mondta: mi csak azt uralhatjuk, amit értünk.”

Idézet Albert Szent-Györgyi:
„Electronic Biology and Cancer.
A New Theory of Cancer.” c. könyv-
véből (Marcel Dekker, Inc, 1976)

Biológus vagyok, nem fizikus. A biológia jelentése: bio-logos, azaz az élet tana. Az élet csodálatos dolog, ami minket mozgat, amiért igyekszünk, szeretünk és cselekszünk. Az egész világot az ember két részre osztja: az élő és élettelen világra. Ez a felosztás nagyon éles, és ritkán van kétsége az embernek afelől, hogy hová tartozik valami, az élő vagy az élettelen világba. Ezért valami nagyon mély különbségnek kell lenni élő és élettelen között. Ez nem valami felületen kis trükk, amit a természet kitalált. Az élő állapotnak egy fizikai állapotnak kell lennie. A fő problémám az, hogyan

lehetne az élő állapotot az egzakt tudományok fogalmaival kifejezni.

Ami az életet jellemzi, az a borzasztó finom, érzékeny reaktivitás, amivel az élő reagál minden hatásra. Az első kérdés az lenne, hogy melyik nívón keressük az élő állapot magyarázatát. Annyit tudunk, hogy szervezetünk szervekből (tüdő, máj stb.) van felépítve. A szervek sejtekből, a sejtek kis szervecskékből, ezek molekulákból, a molekulák atomokból, az atomok atommagokból és elektronokból épülnek fel. A mai biológia egy molekuláris biológia. Hogy miért, azt nehéz megmondani, de tény az, hogy a szervezet molekulákból van felépítve, tehát minden, ami történik, annak molekuláris reakciónak kell lennie. Kétség nem férhet ahhoz, hogy a molekuláris elképzelés hatalmas mértékben hozzájárult a biológia szilárd alapjainak letételéhez. Egy elképzelés azonban, mely először rendkívül gyümölcsöző, később még akadályozóvá is válhat.

Mint tetszik tudni, az élő szervezetek fő alkotórészei a nukleinsav és a fehérjék. A nukleinsav kőtáblaszerű dolog, abban vannak elhelyezve az alaprajzok. De az életet, azt, hogy itt mozogok és beszélek, azt mind a fehérjék s nem a nukleinsav végzik. Ha most egy molekulát nézünk, az nagyjából gömb vagy elipszoid alakú képződmény, amelyet atommagok és azokat körülvevő elektronfelhő alkotják. A fehérjemolekulákban az elektronok a molekulapályákat ellentétes elektronspinnel párosával foglalják el, így viszonylag stabil, zárt képződményt alkotnak. Ennek alapján nem érthető, hogyan tudja a nehézkes fehérje makromolekula a rendkívül finom, reaktív életjelenségeket létrehozni. Ahhoz, hogy az létrejöhessen, csak egyetlen mód van: molekulában kötött elektronspárokból az egyik elektront el kell távolítani. Ha egy elektronspárból kivesszünk egy elektront, a visszamaradó özvegy lesz, márpedig egy ilyen magányos özvegy mindig veszélyes, párt keres magának. Tehát azzal, hogy kivesszünk egy elektront, megbontjuk az egész rendszert, ezzel az összes elektront mozgékonyra tesszük. Egy ilyen molekulában szabad gyök keletkezik, mely paramágneses és elektronspinrezonancia jelet ad. Minél több elektront távolítunk el, annál reaktívabbá, annál élőbbé válik a rendszer. Előadásaimon egy molekulát egy teljesen megtelt parkolóhelyhez szoktam hasonlítani,

Szent-Györgyi Albert, Nobel-díjas biokémikus, rövid magyarországi látogatása során, 1978. július 3-án előadást tartott az ELTE Atomfizikai Tanszékén. Az előadást hangszalag alapján közöljük.

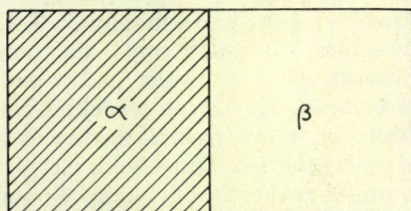
ahol már semmi mozgás nem lehetséges. De ha csak egy parkoló kocsit eltávolítok, akkor már az összes kocsit meg tud mozdulni, egymásnak átadva a megüresedett helyet.

A fehérjemolekula természetesen nem egyszerű gömb, hanem egy nagyon hosszú polipeptid-lánc, aminosavakból összetéve, amely azután fel van hengerítve, hogy egy megfelelő alakú képződmény jöjjön létre. A molekulában csak bizonyos számú elektronpálya lehetséges, adott számú elektronokkal. Így a kérdés az, hogyan lehet egy molekulából egyáltalán egyes elektronokat kivenni. Hát én nem tudok elektronokat kivenni, ehhez azok túl kicsinyek. De egy másik molekula, mely elektromosan telítetlen, átvehet elektronokat, ha a két molekula elég közel kerül egymáshoz és az elektronpályák átfedik egymást. A fehérjemolekulából elektron-donor, a másik molekulából elektronakceptor lesz. Ezt az elektronátvitelt töltésátvitelnek nevezik. Ez így egyszerűen hangzik, azonban a kérdés nem ilyen egyszerű.

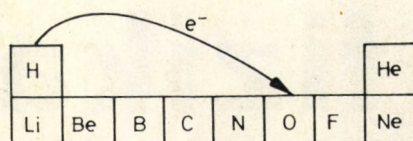
Mielőtt ennek részleteire rátérünk, szeretném az egész kérdés mélyebb természetfilozófiai értelmét felvetni. Nagyon fontos, hogy egy probléma vizsgálatánál ne csak a részletkérdéseket kutassuk, hanem az egész kép, az egész természetfilozófia magunk előtt legyen. Például a rákkutatás — amely engem érdekel — azért haladt évtizedeken keresztül olyan keveset előre, mert mindenki gyógyítani akarta a rákot, és senki sem akarta megérteni.

Földünknek, az életnek a története két nagy periódusból tevődik össze (1. ábra). Földünk kialakulása utáni egy-két évmilliárdon keresztül itt teljes sötétség volt. Nagyon kellemetlen lehetett itt lenni mindaddig, amíg a Föld kezdett lehűlni, a vízgőz kondenzálódott és kialakultak a tengerek. Ekkor a napfény el tudta érni a Föld felszínét. Szóval egy eredetileg oxigénmentes és sötét periódus — amit úgy neveztem, hogy alfa-periódus —, után egy világos béta-periódus következett. Az élőlények a fény energiáját felhasználták arra, hogy a vizet elemeire bontsák, azaz oxigént és hidrogént termeltek. Így a fényvel együtt megjelenik az oxigén. Ez egy rendkívül fontos mozzanat, mert mint azt az előzőkben már említettem, ahhoz, hogy az élettelen fehérjéből egy élő fehérjét csináljak, ahhoz elektronakceptor kell, egy olyan anyag, mely a fehérjétől elektronokat tud átvenni. Itt most röviden ki kell térjek arra, hogy mi az elektronakceptor.

Mindenki ismeri a Mendelejev-táblázatot, melyen minden elem rajta van. Minden sor nemesgáz-



1. ábra. Az élet két fő periódusa



2. ábra. A periódusos rendszer első két sora. Az oxigén, mint az élet fő elektronakceptora.

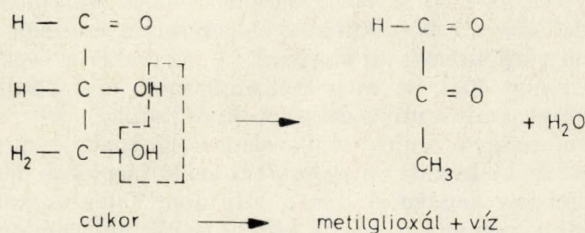
zal végződik (2. ábra). Ezeket az elemeket azért nevezzük nemesnek, mert semmit sem csinálnak. Az atomokban is benne van az az emberi hiúság, hogy mindegyik szeretne nemes lenni, vagy legalábbis nemesnek kinézni. (Én még a régi feudális korszakból származom.) Hogy tud egy atom nemesnek kinézni? Egyszerűen úgy, hogy ugyanolyan számú elektronnal törekszik, mint amennyi a nemesgáznak van. A Mendelejev-táblázatban a nemesgázok előtti, jobboldali elemeknek elektronhiányuk, míg a baloldali elemeknek elektrontöbbletük van ahhoz, hogy nemesnek nézzenek ki. Azaz az előbbi elemek elektront akarnak felvenni (elektronakceptorok), míg az utóbbiak elektront akarnak leadni (elektron-donorok). A jobboldalon az első oszlop a halogének. De a halogének olyan rendkívül aktívak, hogy az élet nem tudja használni őket. Ezek túl erősen vonzzák az elektronokat, majd utána nem hajlandók leadni. Így kénytelenek vagyunk a második oszlophoz fordulni akceptorért, mégpedig a legfelső sorban, ahol legerősebbek a reakciók. Ez az oxigén. Így az oxigén lesz az élet nagy elektronakceptora. A baloldali első elem, a hidrogén lesz az elektrondonor. Az akceptor-donor reakció, melyből energia szabadul fel, tart bennünket életben. Visszatérve az 1. ábrához, akkor, amikor a béta-periódus kezdetén megjelent az oxigén mint akceptor, megnyílt a lehetősége annak, hogy a fehérjemolekulából elektronokat vegyünk ki kellő mértékben. Már mint hallgató, mikor itt a padokban ültem, nem tudtam elhinni, hogy az élet molekuláris jelenség. Mert egy molekula, főleg egy makromolekula, mint a fehérje, mely többszáz vagy több ezer atomból áll, nem valami reaktív anyag. A fehérje kémiaiilag eléggé közömbös, mindaddig nincs semmi elektronmozgékonyosság benne, míg elektronokat nem távolítunk el.

Sokáig gyűjtöttem a bátorságot, míg végül 37 évvel ezelőtt egy cikket közöltem, amelyben azt írtam, lehetséges, hogy a fehérjék félvezetők. Erre az egész világ nekem esett, ami nagyon felbízott. Mert minden felfedezést arról lehet felismerni, hogy mindenki elveti. Minden komoly felfedezést először elvetnek. Szóval ezt is elvetették mindazok, akik igazán tudták a fehérjék kémiaiáját. Pauling, ha az utcán találkoztam vele, már tíz méterről kiabált, hogy a fehérjék nem félvezetők. Amikor egyedül maradtunk, azt mondta nekem, „Nézd, te szerencsétlen biológus, már egy csomó fehérjét izoláltunk, kikristályosítottunk. Tanulmányoztuk őket előlről-hátulról, felülről-lefelé és nyoma sincs egyikben sem a félvezetésnek. Hát

akkor mit beszélsz ennyi hülyeséget, hogy a fehérjék félvezetők." Én sokáig, évekig nem tudtam erre semmit sem mondani, és csak lassan kezdett bennem derengeni a megoldás. A következőkre jöttem rá. Először is, azok a fehérjék, melyeket Paulingék vizsgáltak, nem az igazán érdekes fehérjék, amelyek a nagy életjelenséget produkálják. Az élet elsősorban struktúrához van kötve. Az, hogy én itt mozgok, az a struktúrához kötött adottság. Ha folyadék lennék, akkor nem tudnék mozogni, egy csepp lennék. Amit ki lehet vonni, és amit a fehérje-kémikusok vizsgálnak, azok az oldható fehérjék és nem a strukturális fehérjék. Az oldható fehérjék a másodlagos reakciókat végzik. A nagy életjelenségeket, a mozgást, a gondolkodást mind a strukturák végzik. Ha egy hidraulikus préssel kisajtolnák belőlem az összes oldható fehérjéket, és ugyanúgy egy kislányból, és a két kipréselt oldatot felcserélnék, semmi különbség nem lenne, én nagyon jól érezném magam azokkal a fehérjékkel. Ha azonban a visszamaradó strukturális részeket cserélnék ki, én egy fiatal lány lennék és a kislány egy öreg ember. Szóval, amit Paulingék vizsgáltak, azok nem az élő, strukturális fehérjék, amelyek a nagy életjelenséget létrehozzák, hanem az oldható fehérjék, amelyek másodlagos szerepet játszanak. A második fontos tényező, amelyre fokozatosan rájöttem, ha sikerülne is az élő fehérjét feloldani, kitisztítani, kristályosítani, amíg az kikristályosodik, az élet már rég kiment belőle. Az élő fehérjét nagyon nehéz vizsgálni. Azt például, hogy a fehérje elektromosan vezető-e, víz jelenlétében nem lehet vizsgálni, mert a víz mindent elfed. Így az élő fehérjét még senki nem vizsgálta, ezért senki sem állíthatja, hogy az élet nem elektromos jelenség. Mindez azt mutatja, hogy elektronelvétellel a fehérjék egész jellegét meg tudjuk változtatni: elektroneutrális, zárthéjú rendszerből paramágneses szabad gyök keletkezik, mely rendkívül aktív. Így az egész probléma elvezet ahhoz a kérdéshez, hogy lehet elektront kivenni egy molekulából. Ez nagyon egyszerűnek hangzik, de annál bonyolultabb probléma.

Szabad legyen visszatérnem még egyszer az 1. ábrához. Azt mondhatják, itt elkaptak egy kis hazugságon, mert azt állítottam, hogy az élethez elektronokat kell eltávolítani, és az alfa-periódusban nem volt oxigén. Az élet itt fejlődött ki három és fél milliárd évvel ezelőtt. Az alfa-béta változás kb. három milliárd évvel ezelőtt történt, félmilliárd éven keresztül itt nem volt oxigén és mégis élet keletkezett. Ha azt mondtam, hogy nem volt oxigén, akkor nem fejeztem ki magam elég pontosan. Mert rengeteg oxigén volt, csak mind kötött alakban, foszfát, szilikát, karbonát formájában. Az oxigén egyike a leggyakoribb elemeknek a Földön, de kötött állapotban. Tehát pontosabban szabad oxigén nem volt a Földön.

Szabadna most eggyel tovább menni. Ezen a ponton az élet kitalált egy érdekes trükköt. A kötött oxigént jóformán semmire sem lehet használni, mert itt a molekulán belül ki vannak elégítve az elektromos erők. Van azonban egy vegyület, a



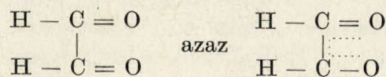
3. ábra. A három szénatomos cukorból víz eltávolításával metilglioxál képződik.

három szénatomos cukor, melyet az élet könnyen tud produkálni. A cukor az egész anyagcsere alapja. Ha ebből a három szénatomos molekulából egy vízmolekulát kivesszünk (3. ábra), ami nagyon egyszerű, a metilglioxálhoz jutunk. A metilglioxálban az egyik oxigén telítetlen, egy kicsit éhes még elektronokra, így a molekulának ez a vége elektronakceptor lesz.* A metilglioxálról — különösen a fizikusok — valószínűleg még nem sokat hallottak. De annál többet fognak a jövőben hallani róla, mert a metilglioxál épp ezen oknál az egyik legfontosabb anyaga a világnak, amit az élet ki tudott már termelni akkor, amikor még sötét volt, oxigén nélkül. A metilglioxál gyenge elektronakceptor, túlságosan gyenge ahhoz, hogy erre egy nagy életet lehetne építeni. Összetett, bonyolult élet, mint az ember is, akkor keletkezhetett csak, amikor az oxigén megjelent, mert az oxigénnek van nagy affinitása az elektronokhoz. A metilglioxállal csak a legegyszerűbb életformák tudtak keletkezni, melyek szinte kizárólagos képessége a szaporodás volt, és ezt ötszögű struktúrájuk megengette. A gyors szaporodás szükséges volt ahhoz, hogy az élet fennmaradjon és ne pusztuljon ki.

A fejlettebb élet kialakulásához oxigénre volt szükség, ami rendkívül erős elektronakceptor. A béta-periódus elején megjelent az oxigén, meg-

* Ezt a kérdést Szent-Györgyi Albert a bevezetőben idézett könyvében részletesebben tárgyalja:

A C = O karbonil nagyon gyenge monovalens akceptor. A dikarbonil alkiterjedtebb π -elektronpályák következtében már erősebb akceptor. A legegyszerűbb dikarbonil a glioxál



ennek metilzármaazéka a metilglioxál. A C = O csoport reaktivitása és energiája attól függ, mi kapcsolódik a C-hez. Ha H, akkor aldehid keletkezik (HC = O). A legegyszerűbb dialdehid a glioxál. Ha mindkét szabad kötést C foglalja el, keton keletkezik. Ha keverve H és C, akkor ketonaldehid. (Pl. metilglioxál.) Egy ketonaldehidben az aldehid C = O aktiválja a keton C = O-t. Pullman szerint a metilglioxálnak van egy nagyon alacsonyán fekvő üres pályája, amely jó elektronakceptorra teszi. A dikarboniloknak — egyszerűségük ellenére — nagyon specifikus tulajdonságaik vannak: aldehid csoportjuk segítségével H-kötésbe léphetnek, míg a keton C = O befogadhat egy elektront, elég távol maradván a donor molekulától ahhoz, hogy ESR jelet adjon.

nyitva az utat az élő differenciálódásához, különböző szervek képződtek. A végeredménye ennek a nagy fejlődésnek mi vagyunk itt, az ember a végső terméke. Már itt meg kell említenem egy körülményt, amit munkatársam Laki és Ladik — két kitűnő magyar tudós, akik velem dolgoznak — mutattak ki kvantummechanikai számításokkal: Ha a fehérje denaturálódik, a Van der Waals vonzóerők a polipeptid-láncok között rendkívüli módon, több nagyságrenddel megnőnek. Azzal, hogy az oxigén fellépett, telítetlenné tette a fehérjét, a vonzóerők megnőttek és megindult a lehetősége annak, hogy nagy, bonyolult struktúrák épüljenek.

A metilglioxál aldehidosoportja könnyen reagál az NH_2 aminosoporttal. A fehérjékben vannak aminosoportok. Van egy aminosav, amelynek nagyon aktív aminosoportja van, mely eléggé szabadon van a fehérjén belül. Ez a lizin. (Egy másik aminosav, az arginin, szintén rendelkezik szabad aminosoporttal, de ez nem reagál olyan jól az aldehidosoporttal.) A fehérjékkel kicsit nehéz dolgozni. Ezért én először egy egyszerűbb aminnal, a metilammal (CH_3NH_2) kezdtem kísérletezni. Ha a metilamint összekeverem metilglioxállal, mindenféle szép színek keletkeznek. S ami rendkívül meglepett — és ebből indult ki később sok évi munka — az oldószer szerint két különböző szint tudok kapni. Vízben egy sárga folyadékot kapok, alkoholban vagy acetonban vörös folyadék keletkezik. Ez rendkívül feltűnő, kémikusnak az ilyesmi rendkívül izgató, s a kérdés az volt, miért kapok én két különböző színt vízben és alkoholban. Mint később kiderült, ami ezt a lényeges különbséget teszi, az a két folyadék oldószer lényegesen különböző dielektromos állandója. A víznek rendkívül magas, 81,5 a dielektromos állandója, míg az alkoholé alacsony (a metilalkoholé 33 körül van). A vízben egy egyszerű kémiai reakció játszódik le — ciszbázis keletkezik — ezzel nem fogok foglalkozni. Az alkoholos oldószerrel — ahol a vörös szín keletkezett — egy fontos és érdekes ESR spektrum figyelhető meg, ami azt jelenti, hogy itt óriási elektroncsere megy végbe a két anyag között.

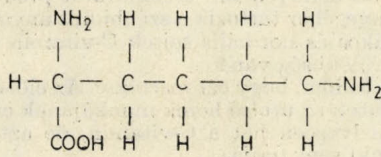
Ez mind nagyon szép, de felmerül a kérdés, hogy a fehérjék is ugyanezt csinálják? Valóban mindez megismételhető egy egyszerű fehérjével, a kazeinnel. Metilglioxállal kezelve a kazeint, vizes oldatban sárga színt kapok, míg metilalkoholos oldatban sötétbarnás vörös szín keletkezik. A sötétbarnás oldatot ESR készülékbe helyezve jellegzetes ESR spektrum figyelhető meg, jelezve, hogy az anyag paramágneses lett, szabad gyökök keletkeztek. Munkatársaim továbbá kimutatták, hogy ez az anyag elektronvezető. Tehát a fehérjét, mely eredetileg nem elektronvezető, elektronvezetővé tudom tenni azzal, hogy metilglioxállal elveszek belőle elektronokat. A metilalkoholos oldatban megjelenő sötétvörös szín nagyon biztató volt számomra. Már mint medikus nagyon izgatott az, hogy miért barna a máj, és sokat untattam ezzel a kérdéssel professzoraimat. Rendszerint a válasz az volt, hogy azért barna a máj, mert az máj. Most

már tudom, hogy miért barna a máj. Nemrég Fodor magyar munkatársammal sikerült a fehérjéhez kötött metilglioxált kimutatni a májban. A kötött metilglioxál lehet szintelen is, így nem minden szervünk barna. Mégis mindez megnyugtató, hogy jó vonalon vagyunk.

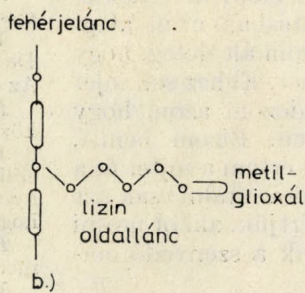
Mint az előzőkben már említettem, az oldószer dielektromos állandója lényeges szerepet játszik ezen reakciók lefolyásában. Ennek alátámasztására végeztünk a fentiekhez hasonló kísérleteket, fokozatosan változtatva az oldószer dielektromos állandóját az alkoholtól a vízig. A választóvonal a 60-as dielektromos állandónál következik be. Ennél kisebb értékeknél kapok elektronreakciókat, míg e fölötti értékeknél nem történik semmi. (Eltekintve kémiai átalakulástól.) Nem kétlem, hogy az élet elektromos jelenség, és hogy ezek a folyamatok érzékenyen függenek attól, hogy mekkora szervezetünkben a dielektromos állandó. Ezt fontos felfedezésnek tartom, mely a rák-kutatásra is kihat. A fenti vizsgálatok szerint mindannak, ami gátolja az elektromos reakciókat, rákot kell okoznia. A víz, a tiszta víz gátolja az elektromos reakciókat. Így a víz egy nagy rákképző anyag. Ez kissé lehetetlennek és nevetségesnek tűnik. De nem az, mivel a víz a fehérjék körül kötött állapotban van jelen, mintegy jégszerűen elrendeződik. És ez azt eredményezi, hogy a dielektromos állandó rendkívüli módon megváltozik. Utalok csak arra, hogy a víz dielektromos állandója 80, míg a jégé 2 körül van. Így ez a rendezettebb, kötött állapot megvédi a fehérjét a víz rákképző hatása ellen.

Térjünk még egyszer vissza a lizinre, mely egy hat szénatomos lánc (4a. ábra). A fehérje peptid-láncába épülve a lizin amino- és karboxilosoportja kapcsolódik a szomszédos aminosavakhoz (4b. ábra). A peptidláncból kilóg a lizin oldallánca egy aminosoporttal a végén. Az aminosoport vonzódik az aldehidhez, így a lizin oldalláncvégén a metilglioxál megkötődik. A metilglioxál akceptor, azonban ebben a kilógó, peptidláncból távoli helyzetben nem tud elektront eltávolítani a fehérje peptidláncától. Azonban — mint ezt Ladik nemrég kimutatta — a lizin oldallánca hexagonális alakban meg tud hajolni. A hexagonál pontosan a fehérjelánc következő peptidkötésnél végződik. (4c. ábra.) Ebben a konfigurációban a lizinhez kötött metilglioxál már el tud egy elektront távolítani a peptidláncból. Így kezdjük már részleteiben is megérteni a metilglioxál akceptor-mechanizmusát.

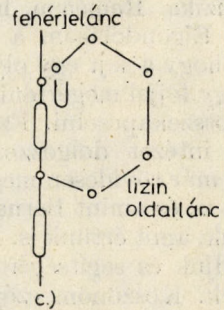
A fenti elképzelésben van egy nagy probléma, egy hiányzó láncszem. A metilglioxál gyenge elektronakceptor. A nagy erő, az erős akceptor, ami az életet létrehozta, az oxigénhez van kötve. Végső soron az oxigén hatására válik a fehérje elektromosan telítetlenné. Azonban az oxigén a fehérjére nem hat, az aminosavra sem és a metilglioxálra sem reagál. Úgy tűnik, itt elakad a vizsgálat. És egy nagyon váratlan megoldás jön segítségül. Kiderült, hogy a nagy összekötő kapocs, amelyik a rendszert összeköti az oxigénnel, vizsi az elektronokat az egyik rendszerből a másikba, az nem más mint a C-vitamin. Tetszik tudni, hogy a C-vitamin



a.)



b.)



c.)

4. ábra. a) — a lizin, b) — a fehérjeláncba épült lizin, melynek oldalláncához egy metilglioxál kötődik, c) — a fehérjelánc két peptidkötése között hexagonálisan meghajlott lizin oldallánc a kötött metilglioxállal.

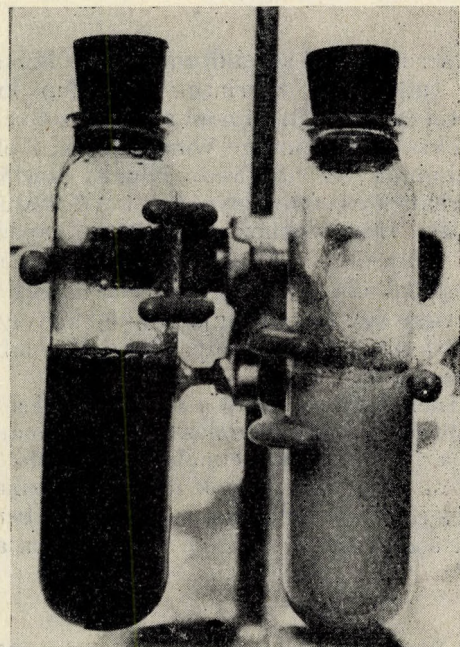
hoz nekem is van valami közöm. A C-vitamin egy csodálatos, rendkívül érdekes anyag, és remélem, a jelenlevő kvantummechanikusok foglalkozni fognak vele, mint ahogy mi is sokat foglalkozunk. Itt van egy kettőskötésű anyag, amelyben az elektronok elég szabadon mozognak. Ezt a különböző ESR spektrumok mutatják. A C-vitamin összeköti az oxigént a metilglioxállal és elektronokat visz át. Tulajdonképpen a nagy életadó anyag a C-vitamin, mely lehetővé teszi, hogy az oxigén tud végső elektronakceptoroként szerepelni, és a fehérjéket telítetlenné tenni.

A C-vitamint a tudomány nem tudta kezelni, nem tudott mit kezdeni vele. Pár hónappal ezelőtt részt vettem egy szűkkörű konferencián, mely öt tagból állt. Részt vett Pauling is, egyike a legnagyobb élő fizikusoknak, aki nagyon sokat foglalkozik a C-vitaminnal, és különböző vitamin szakértők. A vélemények megoszlottak. Egyik szakértő szerint csak nagy tömegű — legalább napi 10 gramm — vitaminnal tudunk életben maradni, mások szerint egyáltalán nincs vitaminra szükség. A konferencia felbomlott azzal, hogy nem tudni, kell-e vitamin vagy sem. Azóta kiderült, hogy a C-vitamin a nagy forrása minden életerőnek, az a kapocs, amely bennünket az oxigénhez köt. A C-vitaminból egy szabad gyök lesz — melyet az 1,75 G-ra levő két nagy ESR jel mutat — és ez a szabad gyök veszi fel az elektront és adja le. És ezzel tartja életben az életet. C-vitamin nélkül nem lehet élni, és vizsgálataim azt mutatják, hogy sok kell belőle. A C-vitamint a szervezet beépíti fehérjébe, enélkül csak egy beteges, ellenállásra képtelen szervezet lehet.

Végül a rákról szeretnék néhány szót mondani. Az 5. ábrán az üvegesövekben patkány májának elfolyósított szuszpenziói láthatók. A baloldali cső a máj ép, egészséges részéből, míg a jobboldali ugyanazon máj elrákosodott részéből származik. Az ép részből származó szuszpenzió sötétvörös színt ad, míg a beteg, rákos szuszpenzió színtelen. Ha most ezt összekapcsoljuk mindazzal, amiről eddig beszéltem, akkor ez a sötétvörös szín nem más, mint az oxigén és az elektronátvitel megjelelése. Előtte nem kétséges, hogy a rák olyan állapot, melyben a fehérje nem képes elektromosan telítetlenné válni, azaz a rák is elektromos jelenség. Ebbe a rendkívül komplikált rendszerbe va-

lami hiba csúszik, mely ezt a folyamatot megakadályozza. A kérdés most, melyre a választ keressük: pontosan hol van ez a hiba? Ha erre megtaláltuk a választ, akkor remélhetjük, hogy ezt a reakciót rendezni tudjuk, ugyanúgy, mint ahogy a cukrot helyettesíteni lehet inzulinnal. Talán sikerült érzékeltetnem, hogy ezek az általános természetfilozófiai elgondolások lényegében elvezetnek a szenvedő ember ágyához, és meghozzák a segítséget is.

A képet, melyet az életről alkot az ember, a következővel tudnám szimbolizálni. Dolgot kétféleképp lehet összerakni: véletlenszerűen és értelmesen. A véletlenszerűen összerakott egy halmazt ad, míg az értelmesen összerakott valami egészen újat. A kettő között olyan a különbség, mint egy halom kő és egy görög templom között. Az élet is egy ilyen dolog. Ha egyszer szétszedtem, akkor nincs semmi értelme az egésznek. Ha pontosan összerakom, akkor megjelenik az a csodálatos dolog, amit életnek nevezünk, és aminek megértéséhez feltétlen kell a kvantummechanika és az elmé-



5. ábra. Patkánymáj strukturális fehérje szuszpenziója. Baloldali cső — egészséges szövetből, jobboldali cső — rákos szövetből.

leti fizika. Remélem, hogy ez felkelti az érdeklődést. Elgondolásom a rákkutatásban azon alapszik, hogy a sejt egy olyan komplikált dolog, hogy azt egy fejjel megérteni nem lehet. Ehhez sok fejet kell összekapcsolni. Ezért fáradozom azon, hogy több intézet dolgozzon közösen. Bízom benne, hogy már rövidesen meg tudjuk érteni a sejtet és a rákot is, és amint Bernard mondta, uralni csak azt tudjuk, amit értünk is. Ha megértjük, akkor uralni is tudjuk és segítségére lehetünk a szenvedő embereknek. Köszönöm szépen.

Marx György megköszönte az előadást és kifejezte reményét, hogy a következő látogatásnál még nagyobb előrehaladásról hallhatunk. Ezután Szent-Györgyi Albert válaszolt néhány feltett kérdésre:

Kérdés: Van-e már valami elképzelés arról, hogy miért lényeges a fehérje vezetővé válása az élet számára?

Válasz: Erre nem tudok felelni. Ez nagyon nehéz kérdés, ehhez még nagy lépéssel kell előrehaladnunk. A fizika is küzd még a nemkristályos félvezetők problémájával. Az utolsó fizika Nobel-díjat Mott és Anderson kapta e téren végzett munkájukért. Ami szervezetünkben történik, nagyon hasonlít a modern elektronikához. Az elektronika azon alapszik, hogy egy rossz félvezetőből jó félvezetőt csinálnak szennyező atomok hozzáadásával, doppingal. Ezen alapszik az egész nagy társadalmi, elektronikus forradalom, amin most keresztülmegyünk. Amit a szervezet csinál, nem más, mint doppingja metilglioxállal a fehérjét, így az vezetővé válik. A természet három és fél milliárd évvel ezelőtt kitalálta azt, amit mi most.

Kérdés: Találtak-e C-vitamint legegységesebben? Egyes növényekben nem találtak C-vitamint, ott valaminek kellene ezt a mechanizmust helyettesíteni.

Válasz: Erre pontosan nem tudok felelni, de a legtöbb növényben van C-vitamin.

Kérdés: Azokban a kísérletekben, melyekben az ósatoszférát imitálták, sikerült-e metilglioxált kimutatni?

Válasz: Nem hiszem, hogy ez sikerült, erről nem tudok. De az élő nagyon könnyen tud szénhidrátot produkálni. Az egész élet lényegéhez tartozik a szénhidrát anyagcsere.

Kérdés: A rákos és normális sejtek C-vitamin szintje között milyen különbség van?

Válasz: Nem tudom, hogy ezt mérték-e. Az előadásban említett vizsgálatok az utolsó hetek munkájának eredménye. A rákra kedvezően hat a C-vitamin, de azt, hogy hogyan hat, senki sem tudja.

Kérdés: A rákos sejt háztartásában C-vitamin, vagy a metilglioxál a hiányzó elem?

Válasz: Ezt szeretnénk most megállapítani. Ezek nagyon nehéz kérdések, óriási munkát igényelnek tisztázásuk.

Kérdés: A rákos jelenségnél a vezetőképesség változása mennyiben ok vagy következmény?

Válasz: A vezetőképességet egyelőre nem mérték. Ez nehéz probléma, a vizet gondosan el kell távolítani, s ekkor már kérdés az eredmények értelmezése. A rákos szövetek dielektromos állandóját most próbáljuk meghatározni.

Kérdés: Más vitaminnak nincs szerepe?

Válasz: Nem tudunk róla. A C-vitaminra Pauling terelte a figyelmet egy-két évvel ezelőtt. Rákos betegségek ellen Skóciában alkalmazták először a C-vitamint. Most már elterjedt gyógy mód, megdöbbentő hatása van, mert megszünteti a fájdalmat. Most kezdődnek a munkálatok ebben az irányban. Eddig még nincs ok más vitaminra gondolni.

Kérdés: Paulingnak intuíciója volt, vagy elméleti alapja a C-vitaminnal kapcsolatban?

Válasz: Náthája volt és bevett C-vitamint.

Kérdés: Professzor úr tud-e arról, hogy Magyarországon is kísérleteznek C-vitaminnal?

Válasz: Nem tudtam róla, de remélem, mert nagyon fontos. A C-vitamin az annyira olcsó, de nem a patikában kell venni, mert ott drága. Amerikában egy kiló C-vitamin 15 dollár, amivel egy évig el lehet élni. Tessék minden nap C-vitamint szedni. Nagyon jó, egészséges.

HUMÁN TUDOMÁNY-E A FIZIKA?

V. Weisskopf
Massachusetts Institute of Technology

Sok ember hajlandó azt állítani, hogy a fizika nem humán tudomány. Szerintük a fizikai kutatás módszerei és eredményei nem azokra az értékekre, indulatokra és érzelmekre vonatkoznak, melyeket mi a „humán” szóhoz asszociálunk; szerintük a módszereknek és eredményeknek kevés közük van az emberi viszonyokhoz, azokhoz a tapasztalatokhoz, melyek fontosak az érzések és indulatok világában, pl. ahhoz, hogy mi emberek egy társadalom, vagy egy család tagjai vagyunk, vagy bármilyen kapcsolathoz, mely az egyik embert a másikhoz fűzi.

Szeretném kizárni ebből a tárgyalásból a fizika inhumanitásának egyik vonását: az inhumanitást, melyet a fizikának a technológiában való alkalmazása okozott. Nem fogok kitérni a fizikai felfedezések romboló fegyverek megtervezésében való alkalmazására, sem a modern tudományra alapozott technológia káros hatásaira, melyet a természetre és arra a környezetre fejtenek ki, amelyben élünk.

Miért nem tekinti annyi ember — beleértve néhány általunk tanított diákot is — a fizikát humán tudománynak? Engedjék meg, hogy az okokat négy csoportba osszam, melyeket csak durván lehet leírni a következő állítások segítségével:

[1] A fizika messze eltávolodott a közvetlen emberi tapasztalástól.
[2] A fizika kvantitatív tudomány, a matematikára épül.
[3] A fizika alapvető fogalmai túl absztraktak.
[4] A modern fizika túlnyomó többségében olyan viszonyok között vizsgálja az anyagot, melyek jelentősen eltérnek az emberi környezettől.

Az első pont azt az érzést fejezi ki, hogy a fizikában a jelenségek megközelítési módja nincs összhangban a mi közvetlen tapasztalatunkkal. Amit egy fizikus lényegesnek talál egy természeti jelenségben, az egészen más lehet, mint amit a laikus annak vél. A fizikus bizonyos folyamatokat meg-

Victor Weisskopf ezt az előadást a IUPAP 1975. évi fizikatanítási konferenciáján tartotta Edinburghban. A Physics Education 1976. márciusi számában megjelent szöveg alapján fordította H. Csejk Gabriella.